

Discussion on the Application of Railway Construction Management System Based on Digital Transformation

Ping Bai Qiang Wei*

Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing, 100081, China

Abstract

As the core platform for engineering lifecycle management, the railway construction management system has evolved from traditional document-based and manual processes to a digital-intelligent platform characterized by data flow, model interconnection, and closed-loop processes. Through literature review, technical standards, and practical case studies, this paper identifies key elements of railway engineering management under digitalization. It then explores implementation strategies for railway construction management systems, proposing corresponding technical and organizational measures to serve as a reference for relevant enterprises and regulatory bodies.

Keywords

digital transformation; railway construction management system; application; discussion

基于数字化转型的铁路建设管理系统应用探讨

白平 魏强*

中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所, 中国·北京 100081

摘要

铁路建设管理系统作为工程生命周期管理的核心载体,其职能已由传统的以文档与人工流程为主逐步转向以数据流、模型联通与过程闭环为特征的数智化运作平台。对此,文章通过查阅相关文献资料、技术规范以及工作实践情况下,并识别出当前数字化推动下的铁路工程管理要素,随后聚焦铁路建设管理系统的应用落地探讨出相应的技术与组织配套措施,以供相关铁路建设企业与管理部 门参考。

关键词

数字化转型; 铁路建设管理系统; 应用; 探讨

1 引言

随着经济的快速发展、人民群众交通出行需求的日益增长,铁路作为重要的现代交通运输工具,建设规模不断扩大。与此同时,铁路建设过程中存在的施工管理混乱、智能化程度不足、各部门专业难以协同等问题,严重制约着整个铁路建设产业的发展进步^[1]。有鉴于此,下文将针对基于数字化转型的铁路建设管理系统应用提出几点简单认识,以供参考。

2 构建统一数字底座以支撑全生命周期管理

构建铁路工程级统一数字底座首先要求实现工程业务

【作者简介】白平(1990-),男,中国甘肃兰州人,本科,助理研究员,从事铁路工程建设与信息化研究。

【通讯作者】魏强(1999-),男,中国黑龙江哈尔滨人,本科,工程师,从事铁路工程建设与信息化研究。

数据、BIM 三维构件、GIS 空间要素与传感器采集流的同源接入与语义融合,采用通用数据接入网关与轻量化数据转换器完成多源格式的结构化与索引化处理,建立统一时空参考框架以支持模型与地形的在线坐标校准与碰撞检核,配套部署模型轻量化引擎以满足浏览端与分析端的性能需求,同时在感知层引入边缘预处理以减少主平台的数据负载。在企业级层面需要制定分层的数据采集规范与元数据治理规则,明确字段字典、数据粒度、采样频率与验收准入门槛,对分包单位应推行交付件清单化与机读化交接,采用元数据标识与可校验签名确保数据可查证与可对比,并建设集中式数据目录、模式注册中心与血缘追踪以支持联合检索、模型重用与合规审计。基于微服务与容器化架构构建可扩展服务层,按职责边界划分能力单元并约定服务契约,设计轻量 API 网关、事件驱动的数据总线与异步消息机制以支持并行化业务编排,采用 Kafka 或同类消息中间件实现高吞吐的数据流转,辅以服务网格进行流量治理与调用可观测性,结合持续集成与持续交付流水线提高上线效率并降低模块迭代风险。

数据治理与权限控制须工程化实施,包括自动化质量规则引擎、周期性数据稽核、全量与增量版本管理与不可篡改审计日志,结合基于角色与属性的权限矩阵与最小权限原则实现精细授权,运用数据脱敏、传输加密与哈希存证技术保证敏感信息安全,并设置数据质量回退、差异比对与应急切换流程以保障全生命周期管理的一致性与合规性。同时应确立面向决策的指标体系与模型治理流程,对上线算法实施可解释性与回归测试。

3 在施工现场推广智慧工地与移动监管

在铁路线形工程施工现场推广智慧工地与移动监管,应首先构建基于物联网的多模态环境与设备感知体系,采用高精度 RTK 定位与基站增强定位相结合,同时布设工业 NB-IoT 与 LoRa 终端对塔吊运行参数、起重负荷、扬尘浓度与等效声级进行 1Hz 以上同步采样,测点按施工网格与危险等级分级布置,边缘算力完成短时数据降噪与事件抽取,再以 MQTT 或 HTTPS 安全通道上报云端以供实时态势感知与执法取证^[2]。其次,应推广移动端可视化巡检与在线闭环工单流程,移动应用以 BIM 切片为界面将构件编码与检测模板关联,现场采集的照片、视频与定位数据自动存档,缺陷上报触发多级审批与整改时限倒计时,并将单据与进度、材料领用及成本结算模块联动,实现问题处置与账务闭环。第三,常态化采用多视角无人机航测、地面激光扫描与静态摄影测量获取高密点云,并通过空间配准将点云与 BIM 模型实现同源映射,应用基于体素差分与形状匹配的偏差检测算法量化构件位移与施工误差,偏差结果作为变更申请与质量验收的量化依据,所有时相数据纳入版本控制以便溯源核查。第四,建议建设统一的监管—承包方数据交换接口规范,采用 RESTful/GraphQL API 并明确元数据字典与传输格式,监管方可按策略进行关键指标远程抽查与阈值告警,接口层嵌入基于角色的最小必要权限和数据脱敏规则,同时实施传输加密、审计日志与周期性安全评估以保障设备与人员隐私与法规合规性。此外,针对线形工程的移动性,应制定点位轮换与扫描周期策略,通常以周度无人机巡检与月度全站激光扫描为主,离线场景支持本地存储与断点续传,所有数据与工程进度以统一时序对齐以便差异分析与责任追溯。

4 基于 BIM 与数字孪生实现设计—施工—运维一体化

数字化转型下铁路建设管理系统应用还需基于 BIM 与数字孪生实现设计—施工—运维一体化的支持。在设计阶段即构建结构化 BIM 模型,要求以模块化构件为单元并在模型语义层嵌入可执行元数据:为构件赋予材料编码、供应链追溯字段、生产批次、加工公差与施工工序脚本,采用 IFC 扩展进行语义映射并生成工程分解结构(EBS)映射清单,以支持模型驱动物料采购、临时设施布置与施工资源优化配

置,并配套生成接口文档与验收样例。施工阶段通过移动采集与边缘节点实现进度、质量检测、影像与传感器数据的实时回写与时空配准,建立时序数据库、变更日志与模型版本策略,采用轻量化接口完成现场与平台同步,按时间戳形成可溯源的数字孪生体用于偏差量化、多场景风险仿真与智能预警,并配置质量放行与异常回溯流程。基于数字孪生构建可视化推演平台,集成交叉专业干涉检查、工序化交底与虚拟任务卡,支持模型驱动的作业下达、移动端回执与演练复盘,以缩短信息链路、提升作业合规性并减少现场误操作,同时保留演练记录供事后追溯^[3]。施工向运维的移交应执行模型轻量化导出、设备台账字段对齐与语义词典,明确模型更新频率、同步间隔、责任主体与回滚机制,并在立项阶段以 BIM 交付标准与数据治理手册固化交付边界与维护权责,以确保模型在设计—施工—运维各阶段始终可用、可审计且可直接驱动运维工单与应急响应。并规定模型更新频率,如日更或周更策略,重大变更触发审批与模型重构,建立责任矩阵与元数据字典,明确验收标准与轻量化渲染准入条件,同时制定培训计划与交付检查单以保障移交质量。

5 利用 5G 与边缘计算提升联通性与实时决策

针对线性与跨域的铁路工程特点,应在关键施工区段依据覆盖半径、天线指向与地形遮挡进行 5G 微基站与 MEC 节点的工程化布设,结合多频段协同、站址共建、天线波束赋形与功率控制以降低投建成本,并在基站侧实施网络切片与专网隔离以保障高清视频、传感流与控制信令的差异化服务质量,同时在设计阶段纳入工程维护便捷性、SLA 指标与站点可替换性要求。边缘节点应承担视频编码预处理、关键帧抽取与 H.265 编码、时序对齐、传感器多源融合与模型推理等功能,采用流式算子与轻量化神经网络(导出为 ONNX 格式)在 MEC 端完成目标检测、异常评分、事件聚合与模型增量更新,仅将经规则与置信度阈值过滤的事件元数据与压缩特征上报中心,以降低回传带宽并减轻核心侧计算压力,边缘需实现 PTP 时间同步、可靠队列缓存与断点续传机制以防止丢包并支持灰度发布。针对高风险作业人员,需构建可穿戴心率、血氧与皮电采集模块,辅以 UWB 与基站融合的亚米级定位以及 5G 便携终端的多模通信,边缘侧部署阈值触发、短时序行为识别与自动录像存证模块以实现即时告警、本地处置建议与事件流水写入不可篡改日志,且在通信退化情形下优先传输摘要并保留原始数据至本地存储以供离线同步与证据链验证。在体系保障上,应制定含链路冗余、边缘热备与控制台异地切换的分级容灾方案,结合 LTE 和 Wi-Fi 作为互备通道并通过定期链路切换演练、性能基线校验及故障回溯流程验证可用性,同时明确设备冗余级别、切换阈值、恢复时序与工程化验收指标,保障在极端环境或通信异常时维持核心监控与指挥能力并可实现快速恢复。

6 建立工程风险感知与智能决策支持体系

在铁路建设工程风险感知与智能决策支持体系的构建上,首先须实现以 BIM 模型为骨架并融合传感器流、施工日志与气象数据的多源数据同化,采用统一元数据与时间同步策略以保持空间语义与时序一致,并在数据抓取层部署准实时校验与异常标记机制以保障指标口径一致性与溯源链路完整性。第二,在风险识别层引入规则引擎与监督/弱监督机器学习的混合框架,规则引擎负责编码工程规范与专家经验以实现可审计的初筛,机器学习模块承担复杂模式识别与概率评分,二者通过置信度融合输出分级预警并伴随可解释性说明以便工程人员快速定位根因。第三,决策支持流程采用流程化的事件—责任—措施映射表,预警结果自动生成可执行的管控建议清单与资源调配方案,并通过任务分配与闭环反馈模块把执行状态与处置结果回写至模型训练数据库以实现责任可追溯与处置可验证。第四,建立持续学习机制,将处置后果、复核记录与现场传感器修正量作为样本纳入增量训练与规则迭代,采用在线评估指标跟踪预警精确率与召回率,并设立人工复核阈值以防止模型漂移,最终形成“数据—模型—决策—执行—验证”的工程闭环,既保证算法性能亦确保工程知识体系的有效嵌入与审计通道^[4]。

7 组织与流程变革以保障数字化落地

除上述要点外,基于数字化转型的铁路建设管理系统应用还应实施组织与流程变革,以保障数字化落地。第一,推动管理层与一线之间的职责再划分,建立明确的数据所有权、数据质量责任与模型维护责任清单,按项目与集团双重维度配置角色,例如设立数据治理主任、项目数据负责人与模型运维工程师,形成矩阵化的审批与反馈路径,并以数据字典、元数据注册、数据质量规则与变更事件记录为基线,辅以 SLA、例行稽核与变更单审批流程保障责任可追溯,变更审批需包含影响分析、回退策略与测试环境验证。第二,制定面向项目的数字化实施路线图,包含能力建构、对标试点、分期推广与闭环评估,明确里程碑、验收指标与风险触发机制,采用试点—复用—扩展的递进策略,并将桥梁、隧

道与轨道铺设等典型工程纳入场景化验证,以 BIM 一致性率、数据可用率、模型在线率、接口稳定性与问题闭环率作为度量,构建项目级仪表盘实现实时监控、趋势分析与阶段性复盘。第三,强化人员技能培养,推行在岗轮训、工种交叉培训与岗位证书制度,开展 BIM 建模、点云处理、移动化采集、数据质量校验与数据目录管理的实操训练,推广“业务+IT”复合岗位、短期轮岗与技术导师制度,引入外部认证机构与赛题驱动的评估方式,建立知识库与案例库并将数字化交付质量与数据资产化指标纳入绩效考核,从而缩短需求传递链路、提高问题闭环率并提升交付同步性^[5]。第四,完善与分包单位的合同条款,将数字化交付标准、API 与文件接口规格、示例数据与验收脚本、文件格式要求(含行业通用 IFC 与国家规范)与验收要点写入合同,明确交付样本、版本管理、第三方技术审查与整改时限,设置数据权属、加密、备份、历史数据移交与保留期条款,并约定违约责任、扣罚机制与验收复议程序以法律手段保障外部协作按规范执行。

8 结语

综上所述,上文结合中国铁路建设管理系统的实践与技术发展脉络,提出了六项面向落地的应用要点,覆盖数字底座、现场智能感知、模型驱动的一体化、网络与算力保障、风险感知与组织流程保障等维度。实施上述要点需要技术与治理并举,既要在平台层面解决数据互通与模型一致性问题,也要在组织层面明确责任与激励机制。后续研究可在具体工程案例中进一步开展量化评估与经验总结以完善相关标准与实施细则。

参考文献

- [1] 宋树宝,卢文龙,解亚龙.铁路工程建设管理信息系统建设期数据分类分级研究[J].铁路技术创新,2024,7(2):13-20.
- [2] 梁策.“互联网+”铁路建设管理系统构建及经济效益分析[J].信息系统工程,2021.
- [3] 吕向茹,牛宏睿,卢文龙.铁路建设内容管理系统关键技术研究与应用[J].软件,2022(007):043.